

評美國科學教育： 過去的缺失與未來的展望

Eva M. Ogens 著

蘇懿生譯

國立高雄師範大學科學教育研究所

在第 149 期科教月刊（楊榮祥，民 81）報導第二屆 IAEF 研究結果，美國科學教育界認為美國科學教育遭遇挫折。其原因除合格教師的欠缺外，學生對科學的排斥態度，也是令人頭痛的問題。本篇作者以一個中學科學督導的身份看此問題，他的觀點也值得我們科學教育界參考，所以特翻譯出來供大家參考，若有不當之處，亦請不吝指正。

前 言

科學教育遭遇了挫折！科學團體擔心今日的學生對科學不感興趣及缺乏正確的認識，將導致將來化學家、科學教師、電腦專家及工程師的缺乏，有些專家甚至預測這種科技人才的不足現象，將於公元 2000 年時就出現。AT & T 貝爾實驗室的物理學家 Solomon Buchsbaum（Buchsbaum 最近被選為布希總統的科技顧問）認為：科學及技術的發展已對於美國正面臨的許多問題造成衝擊，諸如：經濟競爭、能源政策、太空發展、國民健康及國家安全等。

今日的科學教育無法造就一個具有科學素養的社會，而一個具有科學素養的社會應能夠決定科技發展的方向，並且對於攸關我們未來社會形態及生活方式的決策，作最正確的選擇。自 1983 年以來，超過 300 篇有關教育問題的研究報告，指出一般美國人民科學素養的悲慘狀況（Champagne 1989）！

為什麼科學教育有缺失？科學應該怎樣教？這是本文中所提出的兩大問題。

過去的缺失

在 1960 年代，美國對於蘇聯發射 Sputnik 人造衛星的反應，使科學課程著重於科學家的知識（Yager 1988）。課程編寫人員及教育學者認為：學生在能夠明確的陳述問題以及從事有意義的探討之前，必須具備有相當豐富的知識（Yager 1988）。

傳統的科學教學方法偏重教科書裡的知識及教條式的教學，對這種以精通內容為目標而言，科學是由許多分散的主題所組成——如：衛星、電學、磁學、恐龍等——而很

少嘗試去將它們統聯起來。這種教學方式主要是先閱讀課本，再回答課本裡或老師所提出有關事實的問題。有時加入動手操作的活動及老師的示範，以增進學生的學習動機，但是被選入的活動通常是較容易或較有趣的，而不是因為它們能夠有效地發展概念的了解或更高層次的思考。因此，科學的教學（及科學的思考）被視為學生對知識的獲得（Roth 1989）。

對一般美國中學生而言，科學教育通常是無聊的學科（Foderaro 1990），除了無聊，他們也不喜歡科學，因為他們覺得對科學不在行、科學實在太難了。根據最近全國科學教師協會的研究報告指出：大多數的中學生不相信他們自己可以學好科學（Cole 1990）。

單就辭彙而言，據估計在一個科學科目中的新字，就比一個初級外國語文學科的生字還要多！科學教育家一致認為：到了八年級，幾乎三分之二的學生已經自認不喜歡科學了（Cole 1990）。

此外，許多小學老師不喜歡教科學，或教科學時感覺不自在，這或許說明了為什麼最近全國督學協會調查的小學科學授課時數，平均每週只有二十三分鐘。

其他教育專家似乎在心理上就排斥科學，在最近我參加的一個課程教學思考技能的研討會上，當二十位教育專家被問及影響單擺擺動次數的因素有那些時，一時之間，在場的教師、行政官員、訓練員及專業測驗發展人員，通通迴避、受挫而拒絕這個活動。為什麼？因為他們認為這是「科學」，雖然主講人事先已指出，這個活動不是傳統觀念中的科學，而是在所有學科中我們均可要求學生形成假解，不是只在科學學科上。

在這個經驗中，我另一個觀察發現是：科學似乎涵蓋了所有的其它主科。科學學生寫報告時必須使用他們的語文技巧；當學生學習從木材到石油的主要能源使用趨勢時，或學到科學家在文明開發過程中的貢獻時，歷史就被熱烈的引用；當學習物理時，數學是必備的技能且被用來實際的演算，例如簡單的代數被用在力、功、運動定律、密度及機械利益等方面的學習；當學生學習營養及蛋白質、脂質和碳水化合物的構造及功能時，健康教育就必須加強。或許是我的偏見，但對我而言，科學到處都是！因此，身為科學教師就必然的具備了更廣濶的知識背景。當其它學科領域的教師面對他們認為是「科學」的問題時，他們便慌亂而自認無法解決。

今日的科學教育太過於強調教科書及知識的記憶，根據Iowa州立大學前科教中心主任Edward L. Prizzini的調查發現：「百分之九十五的教師在教學時，有百分之九十的時間在使用教科書」（Foderaro 1990）。很不幸的，通常都是在教科書選

定了之後，才來發展課程，因此，課程便淪為「教科書內容的目錄」。

身為一個科學教師，我發現為了課程的要求及標準化測驗，我自己及同事都常感受壓力去隱瞞許多的題材。當我們在課程中教完一些東西之後，很沮喪的竟然有學生問：「我們學這些東西有什麼用？」通常學生不知道我們教給他們的概念，與他們的自己的生活有什麼關聯。

更何況兒童天生是好奇的，兒童運用科學家的工具——熱忱、假設、實驗、結論——去發現世界的奧秘。但是，不知道為什麼，這種天生對周圍世界的好奇心却消失了。是什麼原因使那些學生在小學低年級時喜歡科學，而到了十二或十三歲却變得畏懼它呢？

根據 Simpson 及 Oliver (1990) 的研究指出：「現在學校所使用的科學課程及教學，並不能共同的培養學生對科學的正面感受。」大多數的學生到了九年級要結束時，表示對科學沒有特別的偏好及性向，而且，當學分數達到畢業的最低要求時，絕大多數的學生就不再選修科學科目了。事實上，根據全國科學基金會的數據顯示：在世界科學發達的工業國家中，美國五年級的學生排名第八，但是九年級學生却降到第十五名。

只有六分之一的中學生選修初級或高級的科學科目 (Henderson 1983)，僅 15 % 的中學生選修化學科目，而且僅 7 % 的這些學生選修物理科目 (Henderson 1983)。根據教育部的「國家在危機中」報告（由全國卓越教育委員會提供）指出：其它工業國家花在數學、化學、物理及地理學的課堂時間，甚至於是主修科學的美國學生的三倍，而這些學生在中學選修四年的科學、數學課程 (Gross 1985)。在最近一次的十四國高中生科學抽測中，美國學生排名第十四 (Cole 1990)。

部份問題的發生是由於缺乏合格教師，在全國科學教師協會彙整的 The Science and Mathematics Education Briefing Book 中指出：三分之一的物理課及五分之一的化學課是由未受這類學科訓練的教師所擔任 (Cole 1990)。據全國科學教師協會的最近一份研究顯示：29 % 的全國公私立中學沒有物理教師、17 % 沒有化學教師以及 8 % 沒有生物教師 (Foderaro 1990)。Wright 引用兩篇報告顯示：幾乎 30 % 的現任科學、數學教師是不合格或嚴重的不合格 (Wright 1988)。在我工作的中學裡，也有五分之三科學教師是沒有合格科學教師證的，而且他們也沒有科學的學院背景。

在 1983 年的一次全國調查顯示下列科學教師的不足：物理—40 州；化學—38 州；生物—7 州；基礎科學—17 州；地球科學—30 州 (Wright 1988)。

很有趣而奇怪的是：只有不到 5 % 的中學生將獲得科技方面的學士學位，但是在

多數的中學課程却是為這群少數的精英而設計 (Wright 1988)。卡內基基金會總裁 Ernest Boyer 質疑：如何使科學的發現用於一般的學生，而不是為那一小撮將來要成為科學家及工程師的學生？(Brandt 1988)

今日科學的教學方法並不能引起學生的學習動機，科學課程並不能符合學生現在及未來長大成人後進入社會的需求。「研究顯示：在學校所教的與學生所學的之間，有極大的差距。」(Yager 1989)。「我們正在培養一群科技文盲的美國新生代。」(Paul Hurd, Gross 1985 引用)。全國科學教師協會前任主席 John Slaughter 警告：「在與科學有關的爭論上，少數的科技精英與一般缺乏科學知識的市民之間，有一道正在逐漸擴大的隔閡。」(Slaughter, Gross 1985 引用)

對於自然世界的了解與社會應用這些資訊的能力間，在隔閡存在，美國目前所面臨的問題之一，就是無法因自己科學家的突破性發現，而獲得經濟上的利益 (Mac Pherson 1990)。經濟競爭能力與研究發展有直接關連，美國工程師及科學家的數量不足及其所引起的技術人力資源缺乏，會對經濟造成極大的衝擊，因為美國正逐漸的將市場拱手讓給海外的競爭對手。

除了經濟問題以外，事實上我們正生活在一個科技時代——從電子通訊、數位電子錶、家用電腦和電腦操控汽車，到電動玩具。民衆希望能對一些與科學有關的問題下有理論依據的決定，諸如：核能、有毒廢棄物、環境污染、個人健康、營養、國防以及其它會影響他們生活方式的科學性問題 (Henderson 1983)。一個具有科學素養的社會，對於一般市民及那些對關鍵性問題下正確決策的政府官員而言，是絕對有必要的。

改變目標——STS的遠景

科學教育的目標必須因社會的需要而改變，有越來越多的科學教育學者主張：學校科學教育的目標不是塑造未來的科學家，而是「塑造能多方面了解科學的市民，使他們能智慧的參與理性的思考、解決問題，以及決定如何使用科技來改變社會。」(Roth 1990)

1982年，全國科學教師協會提出：

1980年代的科學教育目標是：培育具有科學素養的國民，能了解科學、技術及社會如何互相影響，並且能應用這些知識於每日的決策中。一個有科學素養的人，具有充實的知識，基於事實、概念、概念結構，以及過程技能，使他能夠繼續學習及邏輯思考。這個人不但能認識科學與技術對於社會的價值，並且能了解其極限範圍。

這個遠景形成科學——技術——社會（Science-Technology-Society，縮寫為 STS）研究計畫的基礎，Yager 及 Hofstein（1986）感覺到：當規劃西元 2000 年，以及協助我們獲得渴望已久的「有科技素養的市民」時，教科書或探討方法對我們而言，已經不太重要且不太適當了。

所謂的探討方法就是：學生參與科學過程中“動手做”的調查活動——觀察、假設、數據整理、下推論及結論等。借由過程技能的發展，希望學生能獲得概念及內容的了解，以及產生對科學的正面態度。然而，研究顯示：雖然學生喜歡這種“動手做”的活動，但是他們並沒有獲得必要的概念及知識，也沒有產生進一步學習科學的傾向（Roth 1990）。據 Paul Hurd 的研究，科學教學中的探討方法，對中等學校的教學只有極微小的效果。

全國科學教師協會支持一個研究計畫 — Project Synthesis — 朝四個方向調整科學教學：符合個人需要的科學、解決社會問題的科學、生涯規畫的科學以及為日後學習準備的科學（Yager 1984, 1989）。

Yager 指出：最近幾年 STS 的成果，驗證了使學生參與計畫及解決問題的教學設計是成功的！一個高品質的科學課程，必須包含下列要素：

1. 與當地社區的關連性：科學的學習必須有關於在當地看得見、在當地關切的與在當地可研究的事件或主題。有意義的科學，不能淪為「教科書科學」。
2. 科學的應用性：技術比純科學的統合化概念更相關、更易於看見及了解。無論如何，只要能引起他們的學習動機及興趣，相信會引起學生去進一步思考其更深層的意義及概念。
3. 社會問題及爭論：科學不能從創造及使用它的社會中分離出來，課程內容必須由人類、人的潛能、人類的進展、人類的適應等組成之（而非學科結構或科學方法）。
4. 決策練習：對於日常生活及社會的未來，所有的人都必須根據事實來下決定。能讓學生用於日常生活的科學及技術方法，應重於科學家所使用的方法。當科學和技術知識能用於解決社會問題時，科學才變得更重要，而不是去培養解答學科相關定律問題的技能。
5. 生涯規畫：如果我們生活在一個科技時代，那麼，與科學與技術有關的生涯，是社會不可缺的一部份。但是，這並不意謂著將來只能成為一個科學家或工程師。
6. 協同多方面知識以解決實際問題：教科書裡的問題及設計的練習，並不能讓學生將來成為一個有責任感的市民，而能夠處理未來的社會問題。在處理問題及爭論時，應

考慮到倫理、道德及價值觀等層面（相較於傳統的科學教學方式，就僅限於學科的教學而與價值觀無關了）。

7. 多層面的科學：對某些學生而言，政治、經濟、心理、社會或哲學層面的科學，似乎比內容或學科層面來得重要。

8. 以資訊的獲得及使用作為評鑑的參考：找尋資訊及使用資訊，是兩個不可忽略的技能，必須在科學教育中受到重視及練習，而不是評鑑專有名詞及概念的定義。

STS 教育單元通常包含五方面：

1. 能夠激發個人對環境及生活品質的責任感。
2. 能察覺及調查特定的 STS 問題，著重科學的內涵，以及當我們從個人利益和團體利益中作抉擇時所造成的衝擊。
3. 對問題作抉擇時，能考慮到相關的科學、技術、倫理、經濟及政治等因素。
4. 負責的個人及社會活動，要與社會團體合作，共同作決定。
5. 從特定的 STS 問題中摘出要點，做更廣泛的理論和原理的考慮，包含：技術對社會及環境的衝擊、現代化民主政治的政策決定過程、引導我們生活形態的道德觀，以及決定如何使用這些技術發展的政策（Waks 1989）。

因此，STS 著重於社會及因技術進步所帶來的人類困擾。在 STS 課程裡，學生學習如何利用科學及技術的知識，去解決有關他們生活以及當地的問題。他們扮演一個年青的市民，參與決定科學與技術在他們生活中的使用方式，而非去扮演一個年青科學家的角色。

Project Synthesis 找出八個涉及技術的有關領域：能源、人口、人類工程、環境品質、資源利用、國防與太空、科學社會學以及技術發展的影響（Yager 1984）。

取代邏輯思考與資料收集的傳統科學教學方法，學生學到的科學並非與價值無關的，價值觀會影響投資的研究領域，價值觀可決定政策的判斷例如核能等，用人類為題材的研究方法論是一個有道德顧慮的主題。因此，科學並非與道德、政治無關的（Aikenhead 1985）。

如何開始——發展一個 STS 的學科

科學的學習必須是有趣的、生動的，而且迎合不同程度的學生需要。任何一種 STS 科目的目標必須包含發展學生對科學及技術的正面態度，以及培養學生使用科學和技術的資訊來評斷與科學有關的爭論的信心。其它的目標，則能因應學生的特別需要而發展。

接下來，決定安排那些科目。科學、技術和社會的特色是什麼？那也許包含：歷史、社會學、道德、宗教、經濟、政治、實際經驗、生態學及個人的前途。問題必須關係到學生個人、他們的社區、他們的國家，以致於整個世界。STS 的問題研究包含：提出問題、尋求解答和下結論。諸如「我們如何知道？」「為什麼我們應關心？」以及「我們能做什麼？」等問題，是獲得有關 STS 知識的第一步。

這個科目的教學可以使用幾種策略：

1. 可以從社會問題開始，接著進入問題背後技術的方法和設計，然後再學習涉及這些方法和設計的科學，最後接著問題解決、下決定、採取行動等。
2. 或是從技術的方法和過程開始，接著研究它們所憑借的科學理論，然後進入由於使用那些設計所衍生的社會問題。通常以問題解決、下決定、採取行動等策略作為結束。
3. 較傳統方法的是：先從科學定理的概念開始，接著是由於科學定理或概念的發現，所產生的技術方法和設計，然後檢討由於技術所帶來的社會問題及爭論，接著決定將來應如何做。

主題可以是酸雨、能源使用、核能及核武、醫學突破、電腦、污染、垃圾問題，以及自然資源為例。如果資訊是收集自不同的來源，如：地方報紙、電視記錄影片、野外旅行、工業界、來賓的演講和圖書館裡調查等，則教科書將失去一些意義。由於學生的參與，他們將維持高度的興趣。學生也會時常改變處理的題目及爭論，這樣也可以維持他們的興趣。同時，當親身處理一些社會的兩難問題時，他們將變成為更有知識、更有效率的市民。

結 論

今日的科學教育在許多方面是有缺失的！首先，它無法產生對科學有興趣的學生（Simpson & Oliver 1990）。其次，它並沒有和學生的生活有所關連，學生所需要的科學，必須具有能用於日常生活中的知識及經驗，那將會協助他們了解和處理世上的問題（Yager 1988）。

「僅憑素養是不夠的、僅憑資訊是不足的，人們必須要有能力去使用他們所學的一切。」（Casper, Aiken-head 1985 引用）。由於引導到與他們息息相關的情境，STS 為學生提供一個引起興趣及參與科學研究的途徑。因為學會了如何利用科學去了解複雜的問題，他們已為將來成為一個有責任的市民及決策者，作了更好的準備。

在1983年全國科學基金會委員會推薦二年期的 STS 給九、十年級學生，減少偏

重科學定理的學科，這些科目留給日後主修科學的學生作為選修科目，其他學生再繼續第三年的STS課程（Yager 1984）。

國家委員會總結其推薦的K-12（從幼稚園到十二年級，譯者註）科學教育課程如下：任何K-12課程的推動，必先了解對於民主制度中的教育要求，包括對科學技能、科學態度及科學知識的要求。一個科技化的民主社會，如果有一大群對科技無知的民衆，就無法生存下去。由科學來的態度、技能、推理能力和知識，是將來掌握大眾命運的部份公民所必備的條件（Yager 1984）。

完整的科學素養包含下面四個要素：

1. 求知的方 法。
2. 行動或應用。
3. 步驟。
4. 價值判斷。

這些要素可以用前面曾經提到的幾個問題來說明：「我們知道什麼？」或「我們如何發現？」「我們能做什麼？」「如果……會如何？」「我們關心嗎？」「我們應當關心嗎？」

科學素養對所有的學生而言都是絕對必要的，科學人力的需求必須建立在科學素養的基礎上。縱使對那些學完所有科學科目的學生而言，許多K-12的科學教學設計並不足以產生科學素養。「一個沉溺於科學訊息的人，並不見得比一個完全未受訓練的人，更能下決定。」（Trachtman, Aikenhead 1985引用）。而大多數的人接受太少的科學訊息，確實是個國家的危機。

社會及技術的問題，並不會因我們邁入2000年而消失。科學概念、定理及理論如果能參與社會的架構中，就會顯得更有意義（Rustum Roy, Wright 1988引用）。這個「科學—技術—社會」架構，提供了一個未來科學教育成功的希望。自從全國科學基金會研究及推薦，已經過了七年，此時不做，更待何時？我們社會的未來，依賴有科學素養的市民，由於對科學及技術的了解，將能充份的憑藉正確而理性的分析，去下最適當的決定。

〔本文取材於The America Biology Teacher. (1991). 53(4)pp 199-203〕

參考資料

1. Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69 (4), 453-475.
2. Brandt, R. (1988). On the high school curriculum: A conversation with Ernest Boyer. *Education Leadership*, 46(1), 52.
3. Bybee, R. W. & Bonnstetter, R. J. (1987). What research says: Implementing the science-technology-society theme in science education: Perceptions of science teachers. *School Science and Mathematics*, 87(2), 144-152.
4. Champagne, A. B. (1989, October). Trends. *Educational Leadership*, 85-86.
5. Cole, K. C. (1990, January 7). Science under scrutiny. *The New York Times: Education Life*.
6. Cutcliffe, S. H. (1989). Science, technology and society studies as an interdisciplinary academic field. *technology in society*, 11, 419-425.
7. Elder, J. (1990, January 7). Hand-on. *The New York Times: Education Life*, 20.
8. Foderaro, L. W. (1990, January 7). High hopes. *The New York Times: Education Life*, 21.
9. Gross, B. & R. (Eds.). (1985). *The great school debate*. New York: Simon & Schuster, Inc.
10. Handerson, R. P. (1983, November). Meeting the needs for a high-technology America. *USA Today*, 112 (2462), 47-49.
11. MacPherson, K. (1990, February 12). Panel may help restock nation's pool of science. *Star Ledger*, 19.
12. MacPherson, K. (1990, February 12). Bush science panel may have Jersey 'accent'. *Star Ledger*, 37.
13. Roth, K. J. (1989). Science education: It's not enough to

- 'do' or 'relate'. *America Education*, 13(4), 16-22, 46-48.
14. Simpson, R. D. & Oliver, J. S. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74(1), 1-18.
 15. Waks, L. (1989). New challenges for science, technology and societ education. *Technology in Societ*, 11, 427-432.
 16. Wright, J. D. (1988). 2000 : A science odyssey. *Clearing House*, 62(1), 20-22.
 17. Yager, R. E., Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1981). Science education atuned to social issues: Challenge for the '80s. *The Science Teacher*, 48(9), 12-14.
 18. Yager, R. E. (1984). Toward new maening for school science. *Educational Leadership*, 41(4), 12-18.
 19. Yager, R. E. (1988). Achieving useful science: Reforming the reforms of the '60s. *Educational Leadership*, 46(1), 53-54.
 20. Yager, R. E. (1989). A rationale for using personal relevance as a science curriculum focus in schools. *School Science and Mathmatics*, 89(2), 144-156.